

## リンゴ“紅玉”のゴム病に関する研究 (第2報) 貯蔵中のペクチン質の 変化について

福島 忠 昭

(山形大学農学部青果保蔵学研究室)  
(昭和51年9月30日受理)

Studies on the internal breakdown of Jonathan apple  
II Pectic changes occurring in stored fruit

Tadaaki FUKUSHIMA

(Laboratory of Post-harvest Horticulture, Faculty of Agriculture, Yamagata  
University, Tsuruoka, Yamagata, Japan)

前報<sup>1)</sup>において、筆者はゴム病と果肉の弾性との関係にふれ、ゴム病にかかりやすい部位、すなわち着色大果の胴部表皮直下の果肉において、果肉の弾性率がもっとも高いことを報告した。

果肉の弾性率が高いことは細胞壁構成物質間の結合が強固であり、細胞と細胞の間のずれが起りにくいことを意味する。一方、ペクチンは細胞壁の中層に存在し、細胞間のずれの起りやすさに関与していると考えられている<sup>2)</sup>。それゆえに、ペクチン質の構造を把握することがゴム病の発生機構を解明するために何らかの利益を与えるだろう。

以上の観点から、本実験はゴム病の発生の多い着色大果と、発生の少ない着色小果および未着色小果を用い、それぞれの果実の貯蔵中におけるペクチン質の違いを明らかにしようとしたものである。

本研究を行なうにあたり、終始御指導を頂いた現京都大学教授、苫名孝博士に、また本論文の取りまとめにあたり、御校閲の労を賜った本大学農学部教授、岩田隆博士、ならびに後藤岩三郎博士に衷心より深謝の意を表する。

### 実験材料並びに方法

実験材料には山形大学農学部附属農場栽植のリンゴ“紅玉”成木樹より採取した果実を用いた。すなわち、1970年10月1日、果実を着色大果(200 g~250 g)、着色小果(100 g~150 g)および未着色果(100 g~150 g)に分けて収穫し、それぞれの果実を2°Cの冷蔵庫(湿度約90%)に運び入れて貯蔵した。ついで約20日おきに果実を各区より3果ずつ取り出し、1果につき20 gの果肉を採取し、最終濃度を80%となるようにしたアルコール溶液中で30分間煮沸後、摩砕、汙過し、残渣を90%アルコール、100%アルコールで順次洗浄した。こうして得られたアルコール不溶性残渣を60°Cで乾燥してからデシケーターに保存し、適宜取り出してペクチン質の分析に供した。なおペクチン質はその分析定量に際して、熱水可溶性ペクチンと熱水不溶性ペクチンに分画された。

### 熱水可溶性ペクチン

アルコール不溶性残渣を乾燥した試料に蒸留水を加え、減圧吸引法により水を内部まで浸潤させてから一昼夜室温に放置した。翌日この溶液を1時間煮沸、汙過し、汙液を定容し熱水可溶性ペクチン分画とした。

### 熱水不溶性ペクチン

熱水可溶性ペクチン分画を除いた残渣を pH 7.0, 0.05 M EDTA 溶液中で1時間煮沸し、冷却後汉過した汉液を定容し熱水不溶性ペクチン分画とした。

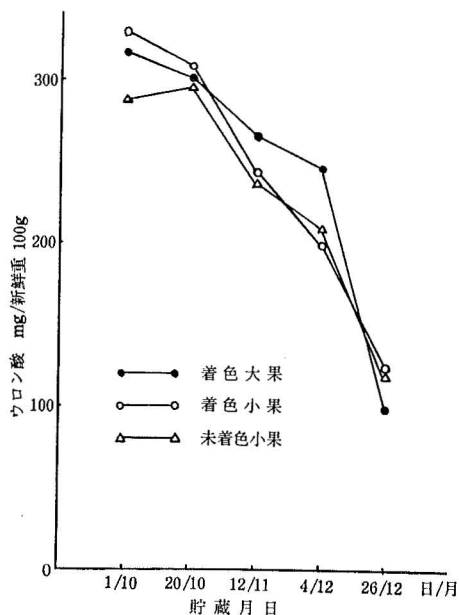
このようにして分画した溶液中のウロン酸含量をカルバゾール法<sup>3)</sup>で、全炭水化物含量をフェノール-硫酸法<sup>4)</sup>で定量した。つぎに全炭水化物含量からウロン酸含量を計算により除いたものを中性糖含量とし<sup>5)</sup>、両画分中のウロン酸含量および中性糖含量からペクチン質の質的な違いに言及した。

なお、得られたデータの数値は3果の定量値を平均したものである。

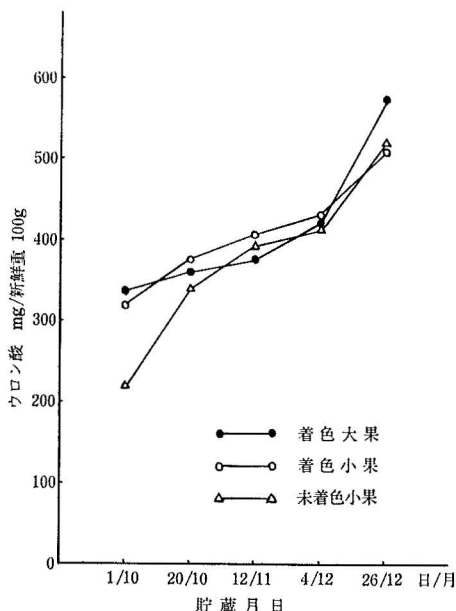
## 実験結果

貯蔵中の熱水可溶性ペクチンおよび熱水不溶性ペクチン分画中のウロン酸含量の変化は第1図および第2図のとおりである。すなわち、熱水可溶性ペクチン中のウロン酸含量は貯蔵時間が長くなるにつれて減少し、逆に熱水不溶性ペクチン中のウロン酸含量は増大した。一方第3図に示すように、両画分中に含まれる全ウロン酸含量は未着色果の収穫直後の果実を除いてほぼ一定である。

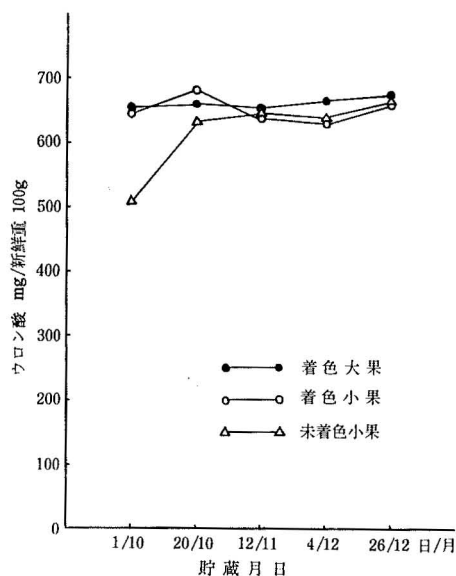
このことから、貯蔵中における上述の変化は熱水可溶性ペクチンが熱水不溶性ペクチンに変化したものと考えられる。これらの変化は着色大果、着色小果および未着色果ともに



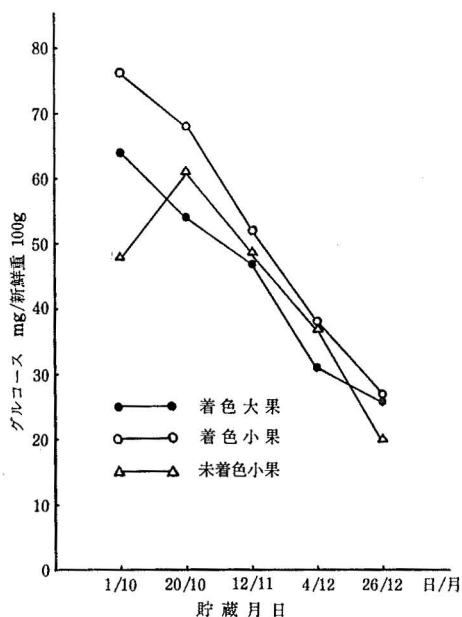
第1図 リンゴ“紅玉”の貯蔵中における水溶性ペクチン含量の変化



第2図 リンゴ“紅玉”の貯蔵中における不溶性ペクチン含量の変化



第3図 リンゴ“紅玉”の貯蔵中における全ペクチン含量の変化

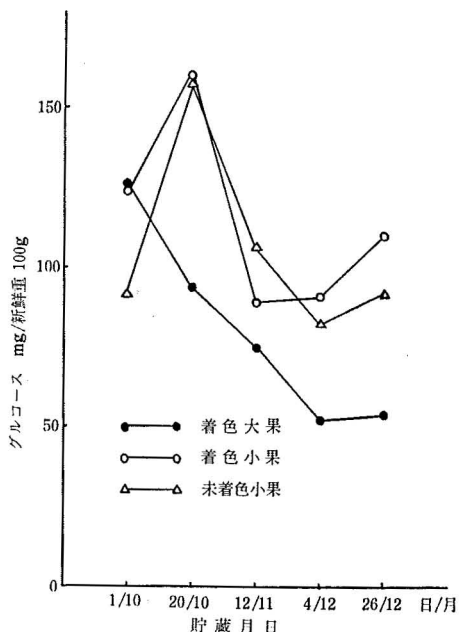


第4図 リンゴ“紅玉”の貯蔵中における水溶性ペクチン画分中の中性糖含量の変化

みられる現象で三者間に大きな差異はない。しかし、ゴム病が発生する時期である12月4日から12月26日にかけての熱水可溶性ペクチンの熱水不溶性ペクチンへの転換速度は着色大果がもっとも大であった。

貯蔵中の熱水可溶性ならびに熱水不溶性ペクチン画分中の中性糖含量の推移は第4図および第5図のとおりである。すなわち熱水可溶性ペクチン画分中の中性糖含量は着色大果および着色小果ともに貯蔵時間が長くなるにつれて減少した。一方、未着色果のそれは貯蔵後20日まで増加したが以後減少した。熱水不溶性ペクチン画分中の中性糖含量は、着色大果では、貯蔵期間が長くなるにつれて減少する傾向がみられたが、着色小果ならびに未着色小果では貯蔵初期に増大し、10月20日に最大となり以後減少した。しかし11月12日以後の含量はほぼ一定の値を示している。

これらの結果、ゴム病の発生する12月における熱水不溶性ペクチン画分中の中性糖含量は着色大果がもっとも少ない値を示した。



第5図 リンゴ“紅玉”の貯蔵中における不溶性ペクチン画分中の中性糖含量の変化

## 考 察

貯蔵中におけるリンゴ果実のペクチン質の変化については多くの報告があり、一般的には水溶性ペクチンが増加し、プロトペクチンが減少することが知られている。またデリシヤス種においては、0°C で貯蔵すると1ヶ月以上にわたり水溶性ペクチンの減少を示す報告もある<sup>7)</sup>。しかし本実験のように水溶性ペクチンの減少と不溶性ペクチンの増加を顕著に示した報告はない。このような結果を生じた原因は“紅玉”種の特性和とも考えられるが、筆者が用いた分離操作によるとも考えられる。

Albersheim & Bonner<sup>8)</sup> はペクチン質をエステル化度の高い熱水可溶ペクチン、40%程度エステル化された熱水不溶・EDTA 可溶ペクチン、ならびに70%アルコール不溶・冷水可溶ペクチンの三つのタイプに分けている。また Jansen ら<sup>9)</sup> はこれらのペクチンのエステル化度について熱水可溶ペクチンは90%、熱水不溶・EDTA 可溶ペクチンは30%、冷水可溶ペクチンは50%程度あるとしている。

本実験ではアルコール不溶残渣から直ちに熱水可溶ペクチンを採取した。このような方法では加熱による分子運動の増大から不溶性の Ca 等の塩が可溶化され、冷水可溶ペクチンのフリーなカルボキシル基と結合し、他のペクチン鎖に架橋してエステル化されていない冷水可溶ペクチンを不溶化する可能性がある。したがって、本実験に用いられた分離操作はエステル化度の高い熱水可溶ペクチンとエステル化度の低いその他のペクチンをふり分けたとみるのが妥当のように思われる。事実筆者等<sup>10)</sup> は、キュウリから同様にして分画したペクチンにおいて、熱水可溶性画分にはエステル化されたペクチンが多く、不溶性画分にはエステル化度の低いペクチンが多く含まれていることを明らかにした。

したがって、本実験の結果をもってして、他のペクチンに関する報告と比べることはできない。しかし熱水可溶性ペクチンをエステル化度の高いペクチン、熱水不溶性ペクチンをエステル化度の低いペクチンと読みかえるならば、エステル化の程度の違いがもたらすペクチンの立体構造の差異とその物理的性質との関係を推論するためには都合がよい。

オーキシンのたづさわる研究において、ペクチンが細胞壁の可塑性に関係があるという報告は多い。例えば、Ordin ら<sup>11)</sup> はペクチンの遊離カルボキシル基と結合する Ca がペクチン分子間に架橋することによって細胞を伸びにくくする。そこでこの遊離カルボキシル基をメチル化することによって架橋度を減少すると細胞壁の可塑性が増加すると主張した。そしてオーキシンのこのメチルエステル化を促進することを明らかにした。その後のオーキシンの研究においては、オーキシンの基本的な作用機作がペクチンにあるという考えを否定しつつあるが、ペクチンが細胞壁の中層にある以上、ペクチン分子間架橋度が細胞のズレの起こり易さに関係するという考えは捨てがたい<sup>2)</sup>。

本実験においては熱水可溶性ペクチンが貯蔵中減少した。これはその間におけるペクチンの脱エステル化を意味し、貯蔵中、除々に、細胞相互間のズレが起こりにくくなることを示唆している。とくに着色大果の12月期にこの現象が著しいことは、着色大果においてゴム病の発生が多いこと、ならびに12月がゴム病の発病期であることを考え合せると、細胞相互間のズレの起こり易さとゴム病の発生との間に何らかの関係があることを想像させ、興味深いものがある。

さらに、着色大果においては、12月の発病期に熱水不溶性画分中の中性糖含量がもっと

も少なかった。Stoddart ら<sup>12)</sup> はカエデ、豆の形成層や培養組織のペクチンとリンゴ果実のペクチンと比べ、分裂の盛んな組織のペクチンには中性糖が少ないことを明らかにした。このことから肥大型の細胞は、混在する中性糖がペクチン間の架橋を妨げ、それだけズレの起り易い膜壁を作る。逆に分裂期の細胞は中性糖が少なく、ズレの起こりにくい細胞膜を形成していることが容易に想像される。一方 Kirkham ら<sup>13)</sup> は膨圧の高い組織で分裂が盛んであることを明らかにした。また我々は果実等の生長過程において分裂期と肥大型があり、分裂期には細胞の肥大がなく、言い換えるならば、分裂期には細胞壁の伸長が制限されていることを熟知している。このような事実を総合的に判断するならば、分裂期の細胞は膜を固めことによって膨圧を高め分裂作用を続けるがその反面膜が固いがゆえに肥大が妨げられる。そしてこの膜の固さを左右するのがペクチン中の中性糖含量ではないかと考えられる。

本実験において、着色大果のペクチン中の中性糖含量はもっとも少なく、分裂細胞型のペクチン組成に最も近い。そしてこのこととエステル化度の低いペクチン組成が相乗して、着色大果がゴム病の発病期に膜を固め、その結果、高い組織の弾性率を示したものと考えられる。

このペクチンの物理性質の変化とゴム病との関係については今後の研究にまきたい。

## 摘 要

前報で筆者はゴム病にかかりやすい部位は組織の弾性率が高いことを明らかにした。今回は組織の弾性率が高い原因をペクチン組成の変化によるものと考え、貯蔵中の“紅玉”種のペクチン組成の変化を調べた。結果は次のとおりである。

1) 貯蔵期間が長くなるにつれて、果実の熱水可溶性ペクチン（エステル化度の高いペクチン）は減少し、熱水不溶性ペクチン（エステル化度の低いペクチン）は増加した。

2) この傾向は、ゴム病の発病の多い着色大果において、ゴム病の発生する12月に、とくに著しかった。

3) 熱水不溶性ペクチン分画に含まれる中性糖含量もまた、ゴム病の発病の多い着色大果において、発生時期である12月にもっとも少ない値を示した。

4) 以上の結果は、ともに着色大果のペクチン質が強固に固められていることを示唆し、このことが結果的に、組織の弾性率を高めたものと推察される。

## 引 用 文 献

- 1) 福島忠昭. 1973. リンゴ“紅玉”のゴム病に関する研究（第1報）果肉の物理的性質について。山形大学紀要（農学），6；289-297.
- 2) 和田俊司. 1969. 植物細胞壁の生長。科学，39；86-94.
- 3) McComb, E. A. and McCready, R. M. 1952. Colorimetric determination of pectic substances. *Anal. Chem.*, 24；1630-1632.
- 4) Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28；350-356.
- 5) 小沢潤二. 1970. ペクチン質。蛋白質核酸酵素，15；888-894.
- 6) Hulme, A. C. 1958. Some aspects of the biochemistry of apple and pear fruits. *Advances in Food Research*, 8；337-351.

- 7) 熊代克巳. 1961. 果樹栽培生理新書・リンゴ. P. 107. 朝倉書店.
- 8) Albersheim, P. and Bonner, J. 1959. Metabolism and hormonal control of pectic substances. *J. Biol. Chem.*, 234 ; 3105-3108.
- 9) Jansen, E. F., Jang, R., Albersheim, P. and Bonner, J. 1960. Pectic metabolism of growing cell walls. *Plant Physiol.*, 35 ; 87-97.
- 10) 福島忠昭, 山崎真人, 小田島利昭. 1975. キュウリの貯蔵に関する研究(第4報) 低温貯蔵中におけるペクチン質の変化について. 園芸学会昭和50年度秋季大会研究発表要旨, PP. 384-385.
- 11) Ordin, L., Cleland, R. and Bonner, J. 1957. Methyl esterification of cell wall constituents under the influence of auxin. *Plant Physiol.*, 32 : 216-220.
- 12) Stoddart, R. W., Bartrett, A. J. and Northcote, D. H. 1967. Pectic polysaccharides of growing plant tissues. *Biochem. J.*, 102 ; 194-204.

### Summary

In the previous report, it was shown that tissue elasticity of Jonathan apple was the highest in the region susceptible to internal breakdown. The present study deals with the role of pectic substances in the change of cell wall elasticity referring to the development of the physiological disorder. Material apples were divided into three groups, coloured large-sized, coloured small-sized and uncoloured, chosen because the latter two groups were not as susceptible to the present disorder as the former one. These materials were stored at 2°C, and pectic changes during storage were checked. In all the fruits, the amount of hot-water soluble pectin (highly esterified pectin) decreased with the time of storage, and concomitant increase was found in the amount of hot-water insoluble pectin. The rate of the changes was more rapid in the coloured large-sized fruit than the other two groups at the same time as the onset of internal breakdown. In the coloured large-sized fruits, the amount of neutral sugars present in hot-water insoluble pectin fraction was relatively less than in the fruits of other two groups. This difference was also intensified at the same time as the onset of internal breakdown. From these results it may be suggested that an increase of de-esterified pectin de-esterification and a decline of the sugar content in the pectin fraction during storage increases cell wall rigidity and elasticity.